Revista Internacional de
**Ingeniería
de Estructuras**

Vol. **23**, **2**, 189-207 (2018)

DEVELOPMENT AND PROGRAMMING OF DOUBLE TEE (DOUBLE-TEE MOMENT CONNECTIONS) SISMORRESISTENT CONNECTIONS IN ACCORDANCE WITH THE ANSI / AISC 358-16 REGULATIONS.

Pannillo Gino [1], Gutiérrez Oscar [2], Vielma Juan [3]

[1]Departamento de Ingeniería Estructural. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA-CIMNE joint lab, Barquisimeto, Venezuela gino.pannillo@ucla.edu.ve
[2]Ingeniero Civil. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA-CIMNE joint lab Barquisimeto, Venezuela karoz1211@gmail.com
[3]Escuela de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile juan.vielma@pucv.cl

Received: January 2018. Accepted: May 2018

ABSTRACT

The main objective of this research is to develop a program capable of analyzing and checking the design of double-T type metallic connections based on the ANSI / AISC 358-16 standard under four different types of nodes depending on their location within a structure of steel. The execution of this program was carried out through a programming language and at the same time the graphical user interface, for which it was necessary to collect various information related to the programming and once this information was dominated, a new one was created. spreadsheet for connection design according to chapter 13 of the aforementioned standard, which allowed evaluating step by step the behavior of the program and calibrating its results as it was developed. The program met the objectives and it is recommended to continue this work by attaching other types of connections to the software to form a macro program specialized in metallic connections.

Keywords: Pre-qualified connection, Interactive design, ANSI / AISC 358-16.

DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN DE CONEXIONES SISMORRESISTENTES TIPO DOBLE TEE (DOUBLE-TEE MOMENT CONNECTIONS) CONFORME A LA NORMATIVA ANSI/AISC 358-16.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo fundamental desarrollar un programa, capaz de analizar y chequear el diseño de conexiones metálicas de tipo doble T basándose en la norma ANSI/AISC 358-16 bajo cuatro tipos distintos de nodos dependiendo de su ubicación dentro de una estructura de acero. La ejecución de este programa se llevó a cabo mediante un lenguaje de programación y a su vez la interfaz gráfica de usuario, para lo cual fue necesaria la recopilación de diversa información relacionada con la programación y una vez dominada dicha información se procedió a la creación de una hoja de cálculo para el diseño de conexiones según

el capítulo 13 de la norma antes mencionada, lo que permitió ir evaluando paso a paso el comportamiento del programa y calibrando sus resultados a medida de que se iba desarrollando. El programa cumplió con los objetivos planteados y se recomienda seguir este trabajo anexando al software otros tipos de conexiones para formar un programa macro especializado en conexiones metálicas.

Palabras Claves: Conexión Pre-calificada, Diseño interactivo, ANSI/AISC 358-16.

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, la creación de estructuras ha sido de vital importancia para el desarrollo de la sociedad y la civilización. La ingeniería civil, más específicamente la ingeniería estructural aporta grandes conocimientos sobre la construcción de estas. Como una de las bases fundamentales de la ingeniería está el diseñar estructuras que buscan el mayor grado de seguridad y economía y a su vez que cumplan con los requisitos funcionales y estéticos para los que son creados dichos proyectos. La ingeniería de estructuras metálicas (Ver Figura 1) ha resultado ser una parte esencial que ha permitido avances y desarrollo de la industria de la construcción ya que brinda seguridad, resistencia, economía y ahorro de tiempo de ejecución en comparación con las estructuras de concreto armado.



Figura 1. Estructura de Acero mediante conexiones apernadas. Fuente: [1]

El diseño estructural debe tener una correcta distribución de los miembros y conexiones que conforman la estructura (Ver Figura 2); esto se logra a través de planos de estas características de manera clara y de fácil comprensión. El correcto uso de cada uno de estos elementos es de suma importancia y para ello se necesita conocer el comportamiento de estos ante las acciones y solicitaciones a las que serán sometidos (tensión, compresión, flexión, torsión y corte) para garantizar un correcta elección y combinación de los mismos, [2].

Después de conocer cuáles son los elementos óptimos se procede a definir el tipo de conexión, entre estas se encuentran las conexiones viga-columna, que en casos de sismos son las que más se ven afectadas.

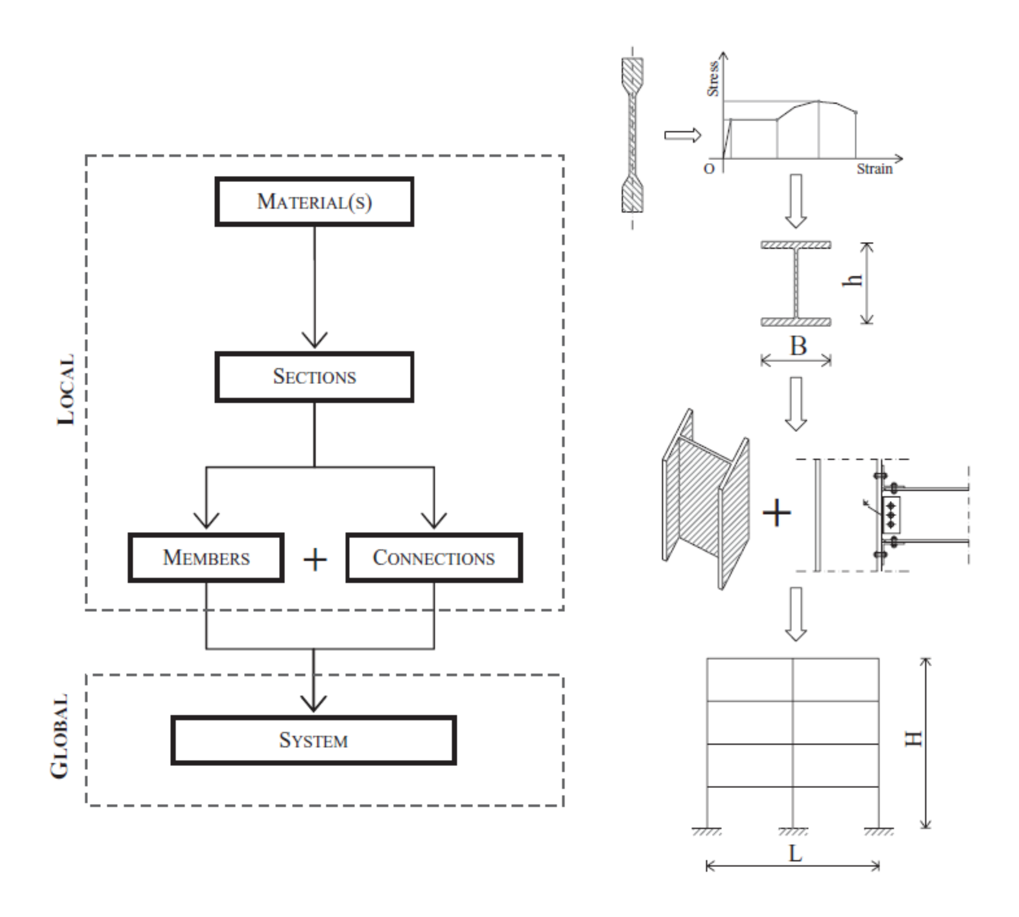
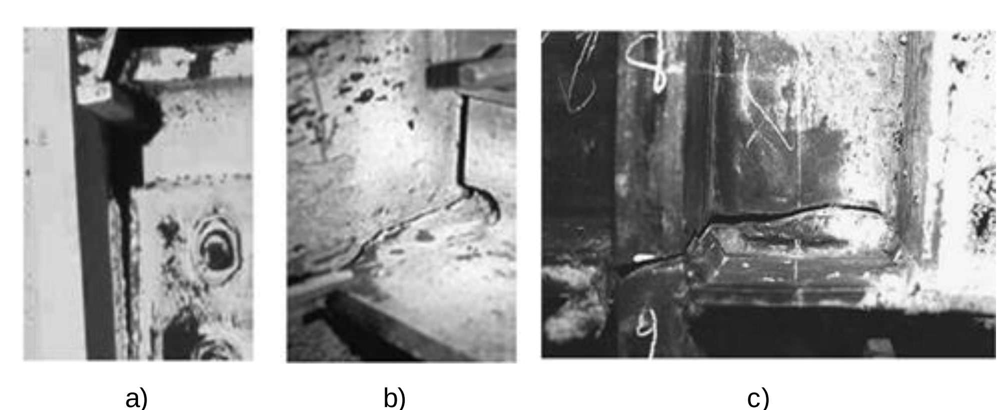


Figura 2. Relación jerárquica entre respuesta estructura local y global. Fuente: [3]

Históricamente las estructuras metálicas han tenido un buen desempeño durante la ocurrencia de movimientos sísmicos, esto debido a su ligereza, ductilidad, durabilidad y alta resistencia [4]. A pesar de esto en épocas recientes las estructuras modernas han sufrido fallas significativas, pérdidas humanas y económicas importante producto de los terremotos; ejemplo de esto Northridge (1994) de magnitud 6.7 y Kobe (1995) de magnitud 7.3 [4].

En el caso de Northridge, a pesar de que las estructuras de acero no presentaron colapsos, existieron daños internos severos en la zona de conexión viga-columna por fragilidad como se observa en la Figura 3, incluso en edificios que para la época eran recientes, durante el evento de Kobe se registraron aproximadamente noventa edificios de acero colapsados, por fallas típicas de fractura en conexiones viga-columna, fracturas de columnas de acero (tubular cuadrada) y fallas por pandeo local. En consecuencia, queda en evidencia que las edificaciones de acero construidas bajo el criterio de pórticos resistentes con los tipos de conexión existente para la época, el tipo de falla presentado fue frágil.



a) b) c)

Figura 3. Fallas comunes en las conexiones viga-columna de las estructuras de acero en Northridge. Fuente: [5]

Venezuela por su parte, se encuentra en una zona de riesgo sísmico, estos sismos, por si solos, no representan un gran peligro pero cuando se manifiestan en lugares poblados, en donde existan edificaciones susceptibles a colapso, como es el caso de nuestro país, específicamente en Barquisimeto que se encuentra en una zona 5 según el mapa de zonificación sísmica extraído de la norma COVENIN 1756-2001 [6], se convierten en una amenaza por lo que es importante el análisis detallado de estas conexiones. Por otro lado, durante los últimos años, en nuestro país se ha presentado un aumento significativo en la construcción de edificaciones en acero debido a la rapidez en el montaje de sus estructuras, y en algunos casos en la disminución de costos que este tipo de construcción tiene con relación a otros sistemas constructivos.

Por esta razón, es indispensable profundizar en el conocimiento de las conexiones metálicas, las cuales, conforman una de las partes con mayor detalle en el diseño estructural siempre basándose en un correcto diseño sismorresistente [4]. A su vez, un diseño sismorresistente se basa en principios fundamentales tales como evitar a toda costa pérdida de vidas humanas y minimizar al máximo los daños a la estructura causados por los sismos, aspectos que están contenidos en la norma AISC (American Institute of Steel Construction) y la ANSI (American National Standards Institute).

En la actualidad son indispensables el uso de programas y herramientas tecnológicas que permitan facilitar los complejos cálculos que debe realizar el proyectista al momento de diseñar cada uno de los elementos, así como las conexiones que los unen además de disminuir el número de errores que se puedan cometer al calcular, por ello en el presente trabajo se muestra el diseño de un programa de cálculo estructural que verifica el comportamiento de una conexión metálica del tipo doble Tee como se muestra en la Figura 4, aprovechando las ventajas que trae el uso de una interfaz gráfica de usuario [7] y siguiendo los lineamientos de la norma sismorresistente AISC/ ANSI 358-16 [8].

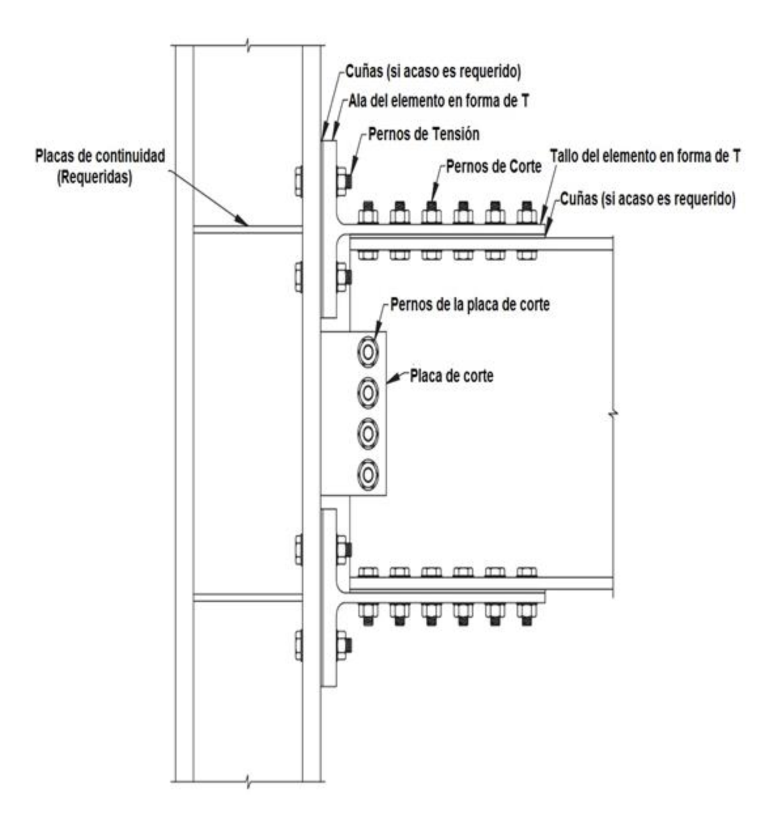


Figura 4. Esquema de conexión típica de tipo doble Tee adaptado de la normativa AISC/ANSI 358-16. Fuente: [8]

2 DESARROLLO

Una conexión como la que se muestra en la Figura 5, es una combinación entre elementos estructurales y elementos de unión conformados para transmitir fuerzas axiales (tensión o compresión), momentos flectores, fuerzas cortantes o momentos de torsión, que actúan de manera individual o combinada. Las uniones, pueden estar conformado de conectores como pernos, soldadura, pasadores y en la mayoría de veces por elementos de conexión como placas de acero, ángulos, perfiles en T, entre otros, cuya función principal es permitir la transferencia de fuerzas entre un elemento y otro. El diseño debe ser compatible con el comportamiento del sistema estructural y las suposiciones hechas en el análisis, para las combinaciones de carga, tipos de apoyo, materiales, y demás parámetros establecidos por las normas de diseño.

Actualmente para el diseño de edificaciones, la norma AISC 341-16 [9] dentro de sus provisiones sísmicas, establece una serie de requisitos específicos para sistemas estructurales con capacidad moderada y especial de disipación de energía, dentro de los cuales se encuentra el uso imperativo de conexiones precalificadas. Una conexión precalificada, es aquella que mediante procedimientos analíticos y experimentales ha sido estudiada para demostrar que dicha unión con una configuración especifica de geometría y materiales, tiene la capacidad y

confiabilidad suficiente para cumplir con los estados limite aplicables a la conexión, y los requisitos sísmicos que demanda el sistema estructural. Para esto, debe seguirse un protocolo de ensayos y análisis matemáticos aprobados por la norma, que garanticen la idoneidad de la conexión frente a un evento sísmico.



Figura 5. Detalle de una conexión viga-columna. Fuente: [10]

El diseño de una conexión se realiza a partir del cálculo de la resistencia que tiene cada uno de los elementos que la componen como se observa en la Figura 6, frente a las características de falla que pueda presentar. La falla de una conexión puede manifestarse en los elementos conectados, en los elementos de conexión, o en los conectores, por esta razón se debe evaluar la resistencia de cada una de las partes de la unión y determinar la menor de todas las resistencias que ellas aportan, siendo esta resistencia la que gobierna el diseño.

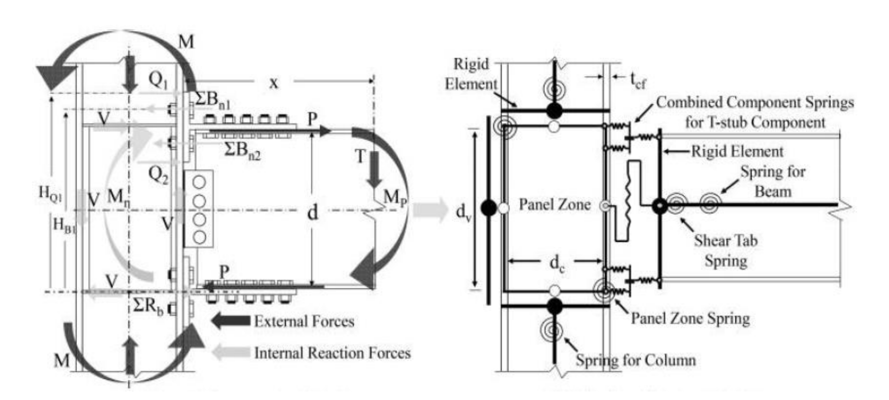


Figura 6. Modelo de componentes idealizados con resortes para la conexión tipo doble Tee. Fuente: [11]

Para este trabajo se hará énfasis en las conexiones metálicas de tipo doble Tee en pórticos resistentes a momentos para ello se tomara como base fundamental los aspectos expuestos en la Norma ANSI/AISC 358-16 [8] en su capítulo 13 titulado DOUBLE-TEE MOMENT CONNECTIONS; como se muestra en la Figura 7, Figura

8 y Figura 9 donde se expresa que las conexiones de doble T utilizan componentes en forma de T que se atornillan tanto al ala de la columna como a las alas de la viga usando tornillos de alta resistencia, esta unión puede ser tanto de cuatro pernos u ocho pernos conectan los componentes de los extremos en T a la columna.

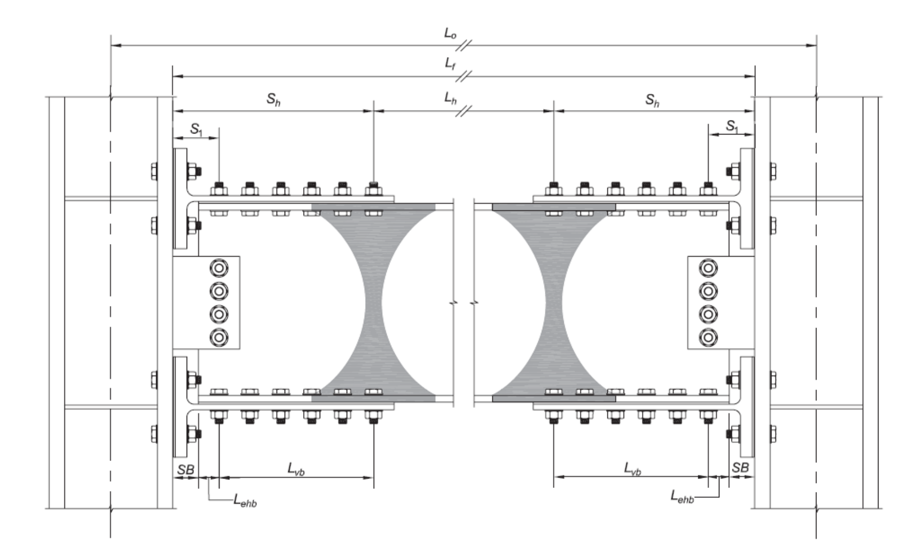


Figura 7. Dimensiones medidas en viga para conexión tipo doble Tee, la región sombreada representa la ubicación de la rótula plástica. Fuente: [8]

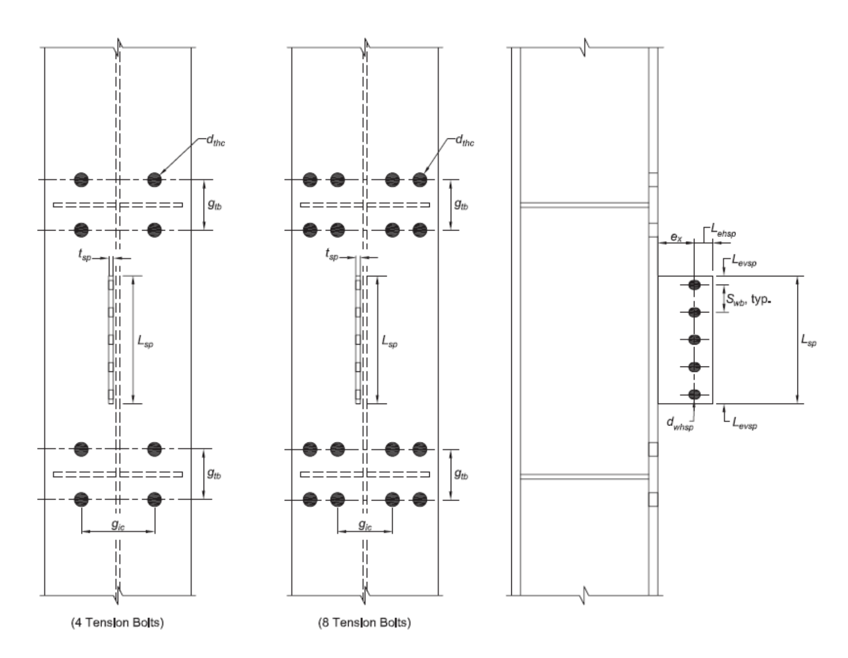


Figura 8. Dimensiones medidas en columna y placa de corte para conexión tipo doble Tee. Fuente: [8]

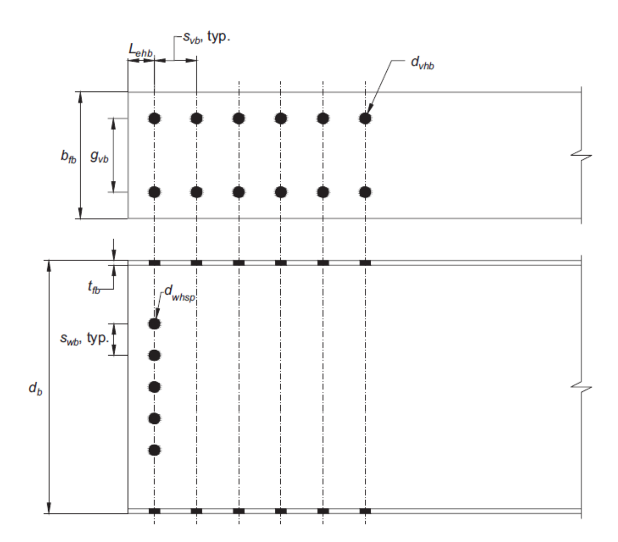


Figura 9. Dimensiones adicionales medidas en viga para conexión tipo doble Tee. Fuente: [8]

Los elementos conectores en forma de T tanto superior e inferior deben ser idénticos. La viga estará conectada a la columna con una conexión de placa de corte atornillada. Para este tipo de conexión cuando esté cediendo en la misma ocurra una formación de rotulas plásticas producidas en la viga cerca de los extremos del elemento de conexión en forma de T, justamente a una distancia comprendida entre la cara de la columna y los pernos de corte más alejados de la cara de la columna (Sh), indicada en la Figura 7. Las conexiones de tipo doble Tee, como se expuso anteriormente, están precalificadas para usarse en pórticos especiales a momento (SMF) y en sistemas de pórticos intermedios a momento (IMF) dentro de las limitaciones expuesta por las especificaciones normativas descrita para el sistema, límites de precalificación en miembros de vigas y columnas, zona panel, relación columna fuerte-viga débil, configuración y detallado de la conexión en forma de T (Ver Figura 10), calidad del material que forma la T, placas de continuidad, tipo de soldadura, pernos y cuña del elemento conector.

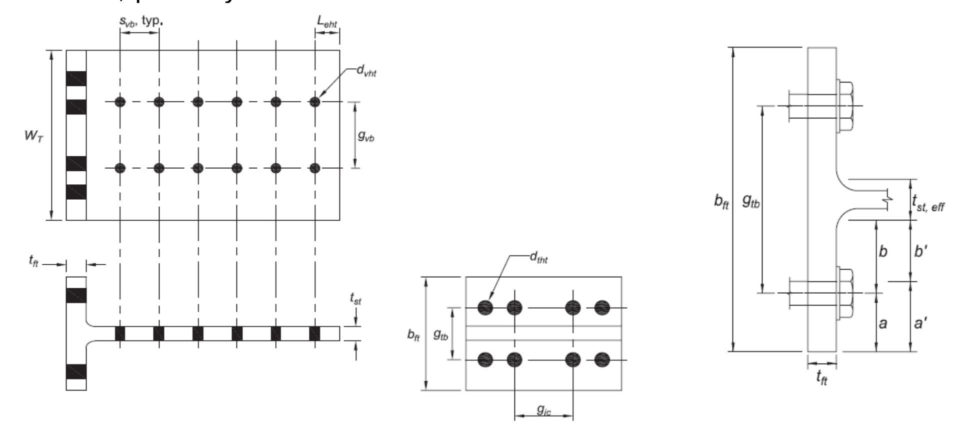


Figura 10. Dimensiones medidas en el elemento conector T para la conexión tipo doble Tee. Fuente: [8]

Para realizar el chequeo de la conexión tipo doble Tee conforme a la normativa AISC/ANSI 358-16 [8], se procede con la siguiente secuencia de pasos:

- Paso N° 1: Calcular el momento máximo probable en la rótula plástica.
- Paso N° 2: Determinación del diámetro del perno de corte.
- Paso N° 3: Determinación de la resistencia de diseño al corte del perno basándose en los estados límites de fractura.
- Paso Nº 4: Estimación del número de pernos de corte.
- Paso Nº 5: Ubicación de la rótula plástica a una distancia.
- Paso Nº 6: Calculo de la fuerza cortante en la rótula plástica de la viga.
- Paso Nº 7: Calculo del momento esperado de la viga en la cara de la columna.
- Paso Nº 8: Fuerza probable en la conexión Tee.
- Paso Nº 9: Determinación del tamaño del tallo del elemento T requerido.
- Paso Nº 10: Determinación del tamaño mínimo de los pernos de tensión.
- Paso Nº 11: Consiste en la determinación del ancho del ala del elemento conector T.
- Paso Nº 12: Este paso consiste en verificar el perfil seleccionado por el usuario como conector T.
- Paso Nº 13: El programa comprobará la rigidez de rotación de la conexión.
- Paso Nº 14: Consiste en determinar la fuerza máxima en la conexión Tee.
- Paso Nº 15: En este paso se comprobara la fuerza de los pernos de corte de la conexión.
- Paso Nº 16: En este punto el programa revisa la fuerza del tallo de la conexión Tee.
- Paso Nº 17: En este paso se verifica la resistencia del ala del elemento conector T.
- Paso Nº 18: Se procede a comprobar la carga por aplastamiento y la resistencia al desgarro del ala de la viga y del tallo del elemento en T.
- Paso Nº 19: En este punto se chequea el bloque de corte del ala de la viga y del tallo del elemento conector en T.
- Paso Nº 20: Se determina la configuración de la conexión de la placa de corte.
- Paso Nº 21: Se comprueba la flexión de la columna y fuerza de flexión de diseño.
- Paso Nº 22: Se verifica la capacidad del ala y el alma de la columna, para verificar si se necesita o no placas de continuidad.

3 METODOLOGÍA

De acuerdo a la naturaleza del problema planteado, esta investigación se considera del tipo aplicada, ya que ella depende de los descubrimientos y avances de la investigación básica y se enriquece con ellos, caracterizándose por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos. Por otra parte, también se considera como un proyecto de tipo factible, ya que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades.

Para el análisis de las conexiones Doble Tee se tomaron en cuenta 4 condiciones de nodos: nodo interno, nodo interno tope, nodo fachada y nodo fachada tope descritos en la Figura 11.

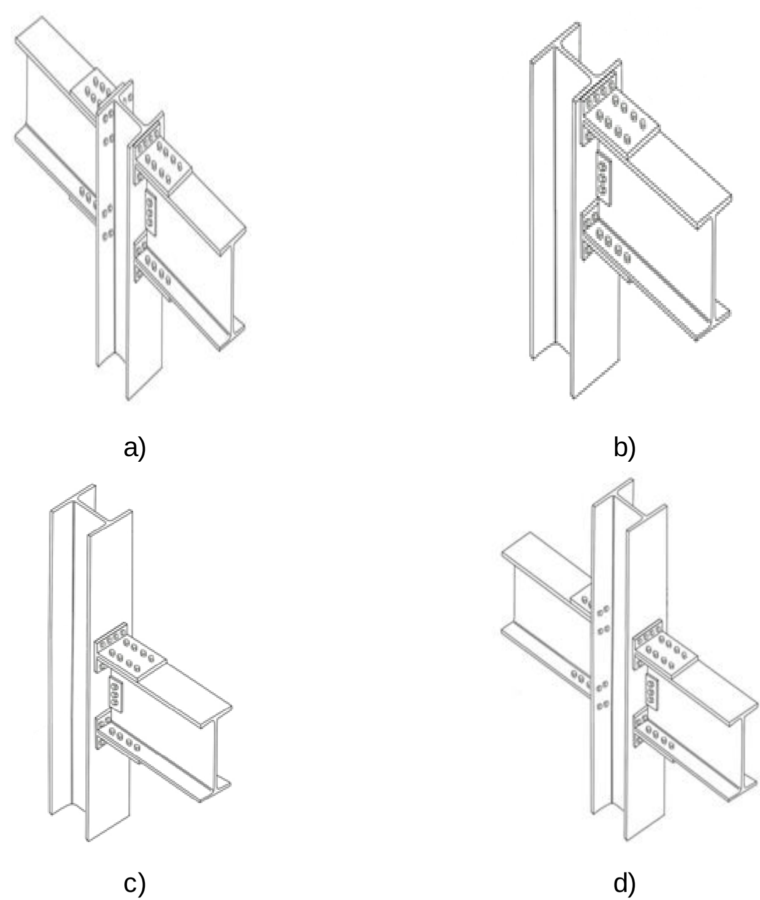


Figura 11. Diferentes tipos de nodos: a) nodo interno tope, b) nodo fachada tope, c) nodo fachada y d) nodo interno. Fuente: Los Autores

El presente capítulo consiste en el desarrollo del programa Interactive Connection Operations (ICO), utilizando principalmente las ventajas que ofrece la Interfaz gráfica de usuario en conjunto con los comandos de sus funciones y condiciones internas, mediante el uso de archivos en donde se elaboraron los algoritmos o códigos del programa.

El programa Interactive Connection Operations (ICO) consiste en un software cuyo objetivo es el análisis, comprobación y diseño de conexiones de tipo doble Tee en pórticos especiales resistentes a momentos en distintas ubicaciones del nodo dentro de una estructura metálica (nodo interno tope, nodo fachada tope, nodo fachada y nodo interno). Por su parte el programa ICO se presenta dividido en cuatro módulos (Ver Figura 12), uno asociado a cada tipo de conexión, la programación de dichos módulos se realizó de manera que se adaptara a los distintos tipos de nodos, y presentar de manera sencilla los resultados de acuerdo al tipo de selección.



Figura 12. Ventana de inicio del programa ICO. Fuente: Los Autores

Todos los módulos que conforman el programa ICO contienen un código base que contiene todas las variables globales del sistema que permite que la información pase de una interfaz a otra y el orden de ejecución del mismo programa, cada una de las interfaces usadas por el programa ICO están conformadas por dos archivos, el primero es una archivo figura que contiene la información de cómo se verá cada interfaz gráfica, posición de cada uno de sus elementos en su entorno y un archivo fuente el cual contiene todas las líneas de código que hacen funcionar cada uno de los elementos, dentro del mismo se dispone de todas las líneas de código que conforman la interfaz de manera ordenada y separada por elemento.

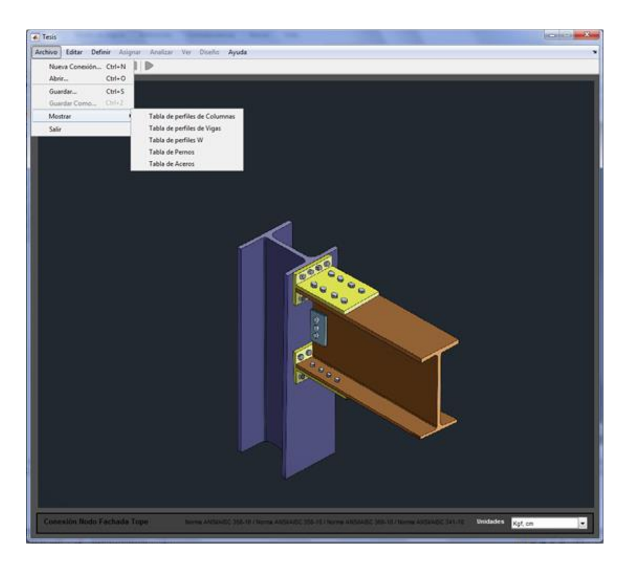


Figura 13. Interfaz gráfica para la conexión Nodo fachada tope. Fuente: Los Autores

En lo que respecta a la estructuración del programa, cada interfaz creada representa una ventana cuya función estará definida por un menú que estará disponible en la interfaz principal (Ver Figura 13). En la Figura 14 se observa el flujograma del diseño de la conexión doble Tee.

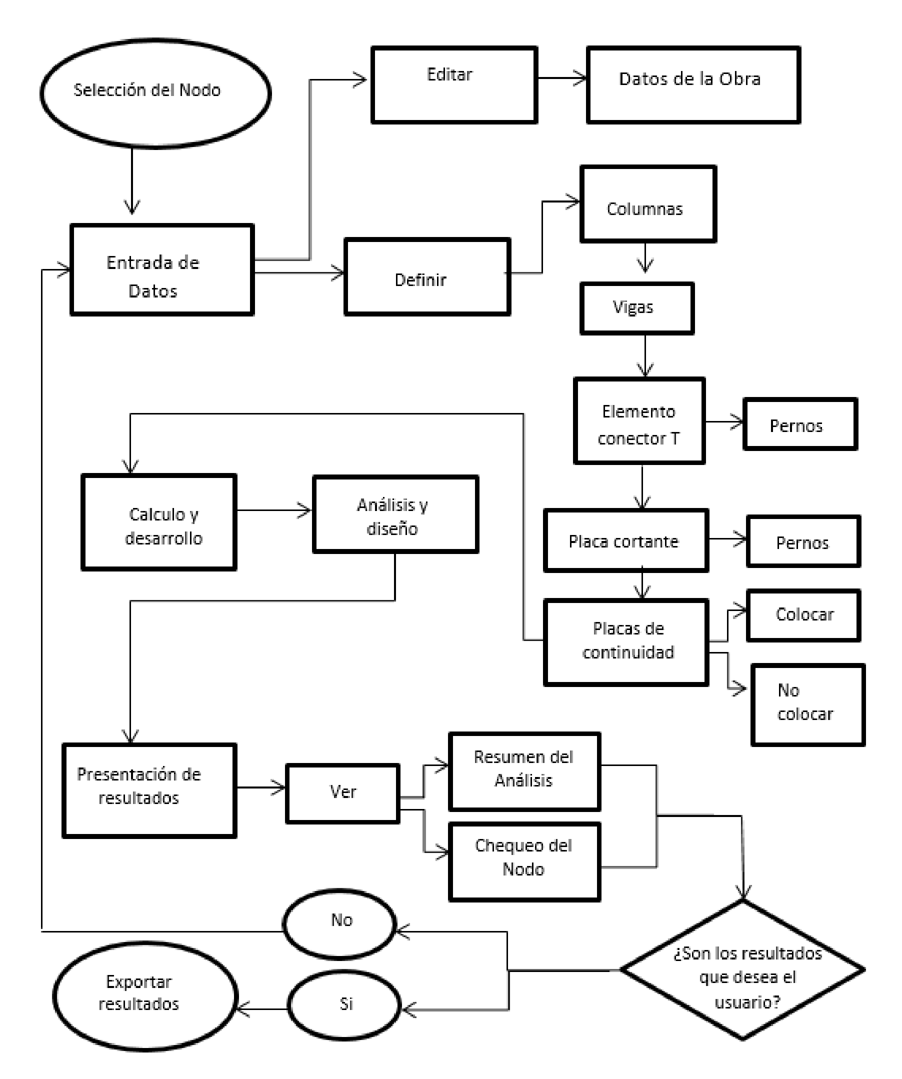


Figura 14. Flujograma del programa ICO. Fuente: Los Autores

4 RESULTADOS

A continuación se desarrolla un ejemplo para la verificación del programa, utilizando una estructura aporticada de acero estructural, para una conexión de tipo doble T con el programa Interactive Connection Operations (ICO), siguiendo las especificaciones de la norma ANSI/AISC 358-16 [8] ubicada en un nodo de fachada tope (Ver Figura 15) bajo cargas de servicio y de sismo. Para la verificación se determinará la fuerza del elemento conector, resistencia del mismo y de la placa cortante y el número de pernos totales que se deben utilizar para cumplir todas las condiciones expuestas por la norma.

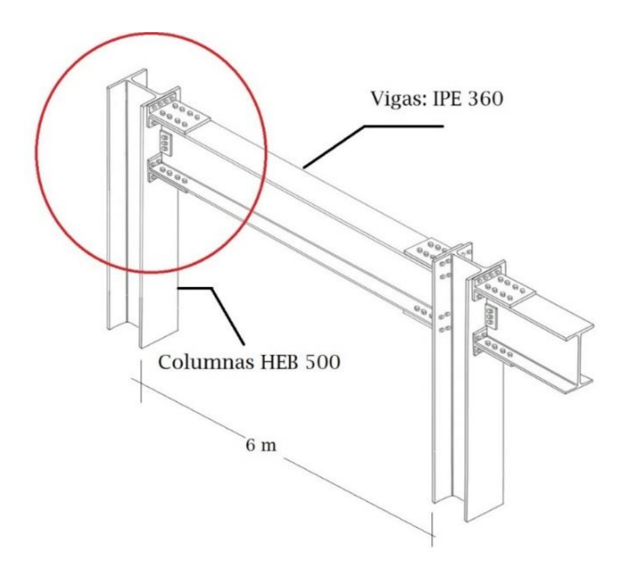
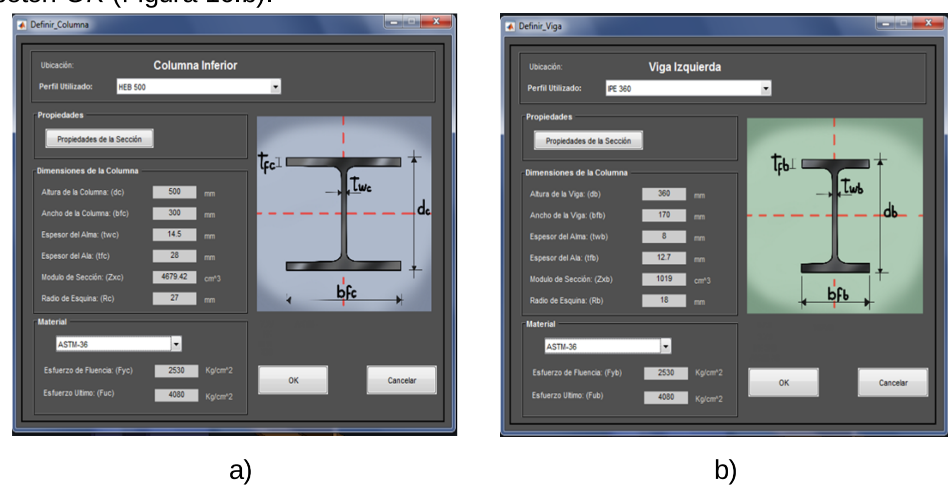


Figura 15. Condición y ubicación del nodo del ejemplo. Fuente: Los Autores

Una vez elegido el tipo de nodo que se va a evaluar, para asignar los elementos que interactúan y forman parte de la conexión se comienza por *Definir → Definir Columnas*, luego se selecciona el perfil de columna que se utilizará y el acero del elemento, posteriormente se presiona el botón *OK* (Ver Figura 16.a). Del mismo modo para elegir el tipo de viga que se utilizara en el diseño se procederá seleccionando *Definir → Definir Vigas*, luego se definirá en la ventana el tipo de perfil y acero del elemento de manera similar a la ventana anterior y se presiona el botón *OK* (Figura 16.b).



a) b)

Figura 16. Ventana gráfica a) Definir columnas y b) Definir vigas. Fuente: Los Autores

De igual manera en la Figura 16.b se puede visualizar los valores que toman las variables para el tipo de viga seleccionada, una vez definido la viga y columna que interactúan con la conexión se procede a definir el elemento T que los conectará. Para ello se selecciona *Definir → Definir Elemento conector T*, donde se abrirá una ventana en la que se usaran perfiles W de los cuales se seleccionara uno

a través de un menú desplegable, luego se definirá el ancho de la conexión y el material del elemento conector tal y como se muestra en la Figura 17.

a) b)

Figura 17. Ventana gráfica a) Definir elemento conector T y b) Definir pernos del elemento. Fuente: Los Autores

Continuando con el ejemplo se procede a definir la configuración de la placa de cortante como se muestra en la Figura 18, para esto se selecciona *Definir → Definir Placa cortante* apareciendo una ventana donde se introducirá el material de la placa cortante, la longitud que tendrá la placa, esta longitud debe ser inferior a la distancia disponible que el programa ICO cálculo de manera automática utilizando los datos de perfiles de vigas y el elemento conector T.

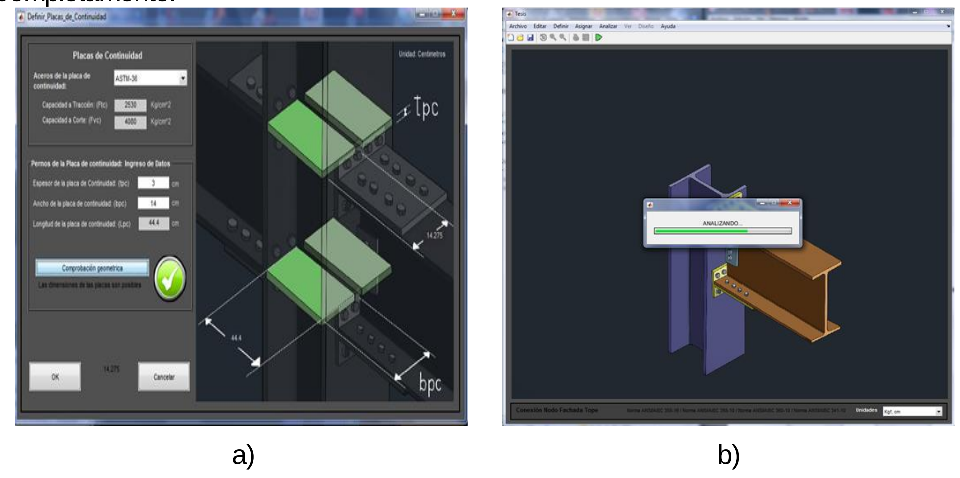


a) b)

Figura 18. Ventana gráfica a) Definir placa cortante y b) Definir pernos de placa cortante. Fuente: Los Autores

Para este ejemplo se colocara a la conexión placas de continuidad (Ver Figura 19.a) por lo que se debe seleccionar *Definir → Definir Placas de continuidad → Colocar* de este modo el programa interpretara que se desea evaluar dicha posibilidad y chequeara si el espesor que se coloque a las placas de continuidad es suficiente para cumplir con las especificaciones. Una vez introducido todos los datos de entrada, se selecciona la opción *Analizar → Iniciar Análisis de la Conexión* (Ver

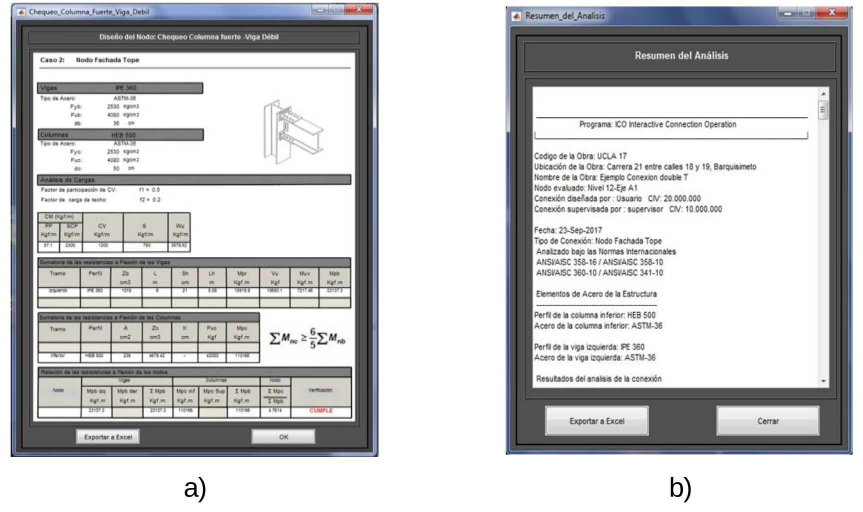
Figura 19.b), comenzando así el proceso de análisis, mientras este culmina se mostrara una barra de espera que no tardara más de cinco segundos en cargar completamente.



a) b)

Figura 19. Ventana gráfica a) Definir placas de continuidad y b) Análisis de la conexión. Fuente: Los Autores

Una vez culminado el proceso de análisis, el programa mostrara automáticamente la ventana de diseño de nodo donde se muestra el resumen del chequeo columna fuerte - viga débil (Ver Figura 20.a). Los resultados referentes al diseño de la conexión se muestran seleccionando la opción *Ver → Resumen del Análisis* donde se muestran a través de una ventana, igual al de la Figura 20.b, tanto los datos de entrada como los resultados obtenidos del proceso de cálculo.



a) b)

Figura 20. Ventana gráfica a) Diseño del nodo y b) Resumen del análisis. Fuente: Los Autores

Los resultados obtenidos con el programa ICO han sido comparados con los obtenidos por la hoja de cálculo “Diseño de Conexión Tipo Doble T” que se encuentra en los anexos del trabajo. La diferencia de en porcentaje se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Diferencia\% = 100\% \; x \left(\frac{ICO\ resultados}{otros\ resultados} - 1\right) \quad (1)$$

A continuación se muestra una tabla comparativa de resultados donde se puede observar el porcentaje de diferencia entre ellos:

Tabla 1. Comparación de resultados parte 1. Fuente: Los Autores

Parámetro	**ICO**	**Hoja de cálculo Diseño de Conexión Doble T**	**Diferencia %**
Mpr (kgf x m)	15919,88	15919,90	0,00%
dvbmax (cm)	5,76	5,77	0,05%
dvb (cm)	1,91	1,91	0,00%
Fi rnv (kgf)	10882,07	10882,07	0,00%
Nvb min	5,07	6,,	18,11%
Sh (cm)	21,00	21,00	0,00%
Vh (kgf)	15690,12	15690,12	0,00%
Mf (kgf x m)	19214,81	19214,82	0,00%
Fpr (kgf)	50832,84	50832,80	0,00%
Wwhit (cm)	23,32	23,32	0,00%
Tst min 1 (cm)	0,55	0,56	0,69%
Tst min 2 (cm)	0,50	0,50	0,41%
Lt (cm)	24,00	24	0,00%
dtb (cm)	1,06	1,06	0,37%
Φrnt (kgf)	20474,79	20474,80	0,00%
Treq (kgf/perno)	6354,10	6354,11	0,00%
tft (cm)	2,93	2,93	0,07%
Ki (kgf/cm)	10250010000,00	10250010000,00	0,00%
βa	1,32	1,32	0,24%
βb	2,18	2,19	0,17%
Pslip (kgf)	50449,90	50449,90	0,00%
Ksip (kgf/cm)	2655258,02	2655258,00	0,00%
Kstem (kgf)	6374953,55	6374953,60	0,00%
Kflange (kgf)	55548321,06	55548321,10	0,00%
Kcomp (kgf)	1874501,65	1874501,70	0,00%
Kten (kgf)	1813310,71	1813310,70	0,00%
Ki calculada (kgf/cm)	1194522245,31	1194522245,00	0,00%

Tabla 2. Comparación de resultados parte 2. Fuente: Los Autores

Parámetro	ICO	Hoja de cálculo	Diferencia %
Ff (kgf)	50671,98	50672,00	0,00003%
Ørn1 (kgf)	130584,86	1305843,90	0,00036%
Ørn2 (kgf)	175488,00	175488,00	0,00%
Ørn3 (kgf)	151267,50	151267,50	0,00%
Ørn (kgf)	175488,00	175488,00	0,00%
ØT1 (kgf)	20183,53	20183,50	0,00013%
ØT2 (kgf)	19211,37	19321,40	0,57291%
ØT3 (kgf)	20474,79	20474,80	0,00001%
ØRn (kgf)	29160,00	29160,00	0,00%
ØRn (bloque de corte) (kgf)	129907,80	129907,80	0,00%
Nvb	2,05	2,05	0,228%
Vt (kgf)	15690,12	15690,12	0,00003%
Fi Rn1 (kgf)	45084,60	45084,60	0,00%
Fi Rn2 (kgf)	25116,48	25116,48	0,00%
Fi Rn3 (kgf)	29376,00	29376,00	0,00%
Fi Rn4 (kgf)	107959,50	107959,50	0,00%
Fi Rn (kgf)	94343,45	94343,46	0,00%
Ffu (kgf)	55326,27	55326,28	0,00001%
Tcp calculado (cm)	2,42	2,43	0,01646%

Los valores obtenidos en el programa ICO (Ver Tabla 1 y Tabla 2) muestran una diferencia menor al 0.6%, excepto en el caso de la variable Nvb min que tiene una diferencia mayor pero esto se debe a que el programa ICO no redondea este valor a un número par superior cosa que la hoja de cálculo si hace, aun así y pese a no redondear, el mismo programa a través de mensajes de error permite al usuario comprender que el número de pernos que debe ingresar debe ser un numero par superior al número mínimo de pernos por lo que no afecta en lo más mínimo el cálculo y análisis final de la conexión. En la Tabla 3 se observa la descripción de las variables obtenidas.

Tabla 3. Descripción de las variables. Fuente: Los Autores

Presentación de resultados			
Mpr	momento máximo probable	Kflange	rigidez del ala de la conexión T
dvbmax	diámetro máximo de corte	Kcomp	rigidez asociada a la compresión
dvb	diámetro de corte definido por usuario	Kten	rigidez asociada a la tracción

Fi rnv	resistencia de un perno de corte	Ki calculada	rigidez calculada en el paso 13 AISC 358-16
Nvb min	numero de pernos de corte mínimo	Ff	fuerza máxima en la conexión
Sh	Sep. Entre la columna y la rótula plástica	Ørn1	resistencia en la sección bruta del tallo
Vh	cortante aplicado en la rótula plástica	Ørn2	resistencia en la sección neta del tallo
Mf	Momento en la cara de la columna	Ørn	resistencia debido a la fuerza máxima
Fpr	Fuerza probable debido a Mf	ØT1	resistencia de diseño por tensión del ala T
Wwhit	ancho mayor de la conexión T	ØT2	resistencia de diseño por fractura del ala T
Tst min 1	espesor mínimo de la conexión basado en el rendimiento	ØT3	resistencia de diseño por falla mixta del ala T
Tst min 2	espesor mínimo de la conexión basado en la fractura	ØRn	resistencia del ala del elemento T
Lt	Longitud total del elemento conector T	ØRn (bloque de corte)	resistencia por bloque de cortante en la T
dtb	diámetro de los pernos de tensión	Nvb	numero de pernos de la placa cortante
Φrnt	esfuerzo de diseño de perno de tensión	Vt	cortante total aplicado en la rotula
Treq	resistencia del ala de la conexión	Fi Rn1	Resistencia a cedencia local del ala
tft	espesor del ala de la conexión	Fi Rn2	Resistencia a cedencia local del alma
Ki	rigidez de rotación de la conexión	Fi Rn3	Resistencia al pandeo local del alma
βa	factor asociado a la rigidez	Fi Rn4	Resistencia al aplastamiento local del alma
βb	factor asociado a la rigidez	Fi Rn	Resistencia mínima de la columna a cargas concentradas
Pslip	fuerza en el borde debido a la tracción	Ffu	fuerza sobre las placas de continuidad
Ksip	rigidez del borde de la conexión T	Tcp calculado	espesor de la placa de continuidad
Kstem	rigidez del tallo del elemento T		

5 CONCLUSIONES

- El programa Interactive Connection Operations (ICO), es un programa para análisis y diseño de conexiones de tipo doble T siguiendo las especificaciones y condiciones estipuladas en la norma ANSI/AISC 358-16 [8] y que brinda al usuario la posibilidad de realizar un análisis a cualquiera de los tipos de nodos disponibles según la posición de los mismos dentro de la estructura. Sumado a ello el programa posee una interfaz sencilla y amigable al usuario con opciones de visualización y exportación de resultados.

- Para la validación del Programa ICO se realizó la prueba del mismo mediante un ejemplo didáctico, en el cual fue comparado con los datos obtenidos tanto de manera manual siguiendo las especificaciones paso a paso del capítulo 13 de la norma ANSI/AISC 358-16 como a través de una hoja de cálculo diseñada bajo dicha norma obteniendo de esta manera resultados muy aproximados y sobretodo de manera rápida y menos laboriosa en comparación con cálculos manuales que es uno de los principales objetivos del mismo.

- En todos los resultados las diferencias representaron un porcentaje muy bajo en comparación con los resultados del ejemplo, con lo cual se concluye que los resultados obtenidos utilizando el ICO son aceptables. Como línea futura de

investigación se propone continuar desarrollando el programa hasta lograr intercambiar la actual interfaz basada en imágenes a una basada en objetos en 3D.

5 BIBLIOGRAFÍA

[1] C. P. Takeuchi, Conexiones en estructuras metalicas, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2009.

[2] R. Aguiar, J. C. Vielma y D. Mora, «Diseño y análisis de vigas de acero con sección tipo "I",» *Revista Ciencia,* vol. 19, nº 2, pp. 285-307, 2017.

[3] A. S. Elnashai y L. Di Sarno , Fundamentals of Earthquake Engineering, Londres: Wiley, 2008.

[4] M. Bruneau, C.-M. Uang y R. Sabelli, Ductile Design of Steel Structures, New York: McGraw-Hill, 2011.

[5] V. Gioncu y F. M. Mazzolani, Seismic Design of Steel Structures, New York : CRC Press, 2014.

[6] Norma Venezolana COVENIN 1756:2001, «Edificaciones Sismorresistentes Parte 1: Articulado (1 era Revisión),» FONDONORMA, Caracas, 2001.

[7] C. Abella, «Programa para análisis y diseño de estructuras aporticadas de acera, diseño de conexiones y curvas de comportamiento para las conexiones de plancha extrema extendida 4ES bajo las especificaciones del AISC,» Tesis de maestria en mecanica aplicada a la construcción, UCLA, Barquisimeto, Venezuela, 2017.

[8] ANSI/AISC 358-16, «Prequaliied Connections For Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications,» American Institute of Steel Construction , Chicago , 2016.

[9] ANSI/AISC 341-16, «Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,» American Institute of Steel Construction , Chicago, 2016.

[10] F. J. Crisafulli, Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero- Alacero, 2014.

[11] J. Wan Hu, Smart Connection Systems; Design and Seismic Analysis, London: CRC Press, 2016.